第46卷　第6期
2023年6月
干旱区地理
ARID LAND GEOGRAPHY
Vol. 46　No. 6
Jun. 2023

多要素流视角下黄河“几”字弯都市圈空间网络结构及影响因素研究

曹　晨，　黄贤金

（南京大学地理与海洋科学学院，江苏 南京　210023）

摘　要： 基于交通流、物流、资金流与信息流等多元数据，运用联系强度、空间结构指数、凝聚子群、二次指派程序（Quadratic assignment procedure，QAP）等方法，对黄河“几”字弯都市圈空间网络“点-线-面”特征及影响因素进行分析。结果表明：（1）各城市交通流、物流、资金流、信息流与综合流的联系强度差异明显，综合流呈现以太原市与呼和浩特市为核心的“两核多中心”发展态势。（2）城市网络联系显示物流与资金流的联系更为紧密，同时各要素流网络结构空间非均衡特征明显，总体呈现东强西弱、北强南弱的特征。（3）空间结构指数表明不同要素流视角下黄河“几”字弯都市圈均呈现较为明显的多中心结构，同时不同要素流视角下的凝聚子群均呈现地理邻近性特征。（4）经济全球化、交通效率、产业结构、地理邻近性等因素显著影响都市圈多要素联系网络。

关 键 词： 黄河“几”字弯都市圈；多要素联系网络；空间结构；QAP回归分析

文章编号： 1000-6060(2023)06-0993-11(0993~1003)

都市圈是区域经济发展的重要单元[1]，也是集聚社会经济要素、促进区域协调发展、推动区域高质量城镇化的巨大影响空间。近年来，我国都市圈建设进程不断加快，培育发展一批现代化都市圈、形成区域发展的新增长极，成为我国都市圈建设的新目标。而空间结构决定都市圈资源配置效率和竞争力，因此对空间结构特征和规律的研究应是都市圈建设关注的重点。随着人口增长、交通方式的改变以及互联网和通信技术的发展，对都市圈空间结构的关注由传统的等级规模转向动态的要素流动与相互作用[2]，动态流空间主导着都市圈空间网络的新格局[3]。

流空间理论的提出改变了城市空间网络结构的研究范式，成为审视城市空间网络结构的新视角[4-5]。基于流空间视角，学者们围绕旅游流[6-7]、交通流[8-9]、信息流[10-12]、物流[13-14]、人口流动[15-17]以及经济联系[18-20]等多个要素，对城市空间网络结构开展了广泛的研究，研究成果较为丰富，但仍存在以下不足：一是基于流空间的城市空间网络结构研究较多关注某一单一要素流，如旅游流对区域旅游空间特征与进程的影响[6]、交通流对城市网络形成与发展所起的不同功能与作用[8]等。近年来，随着大数据采集技术的升级，基于百度指数的信息流与基于百度迁徙数据的大规模人口流动成为研究的热点[11,15]。但当前的研究仍然不能摆脱单一要素流的局限性[21]，对多要素流及其共同作用下的城市空间网络结构特征及影响因素的研究有待深入和提高。二是在中国，城市群是区域资源高度整合、要素流动密集的区域，城市群尺度下城市空间网络结构特征是当前研究的热点。同时研究热点地区多集中在区域要素交互频繁、网络化格局较为成熟的珠三角[4-5]、长三角[9,11]、京津冀[16]等城市群，较少从

收稿日期： 2022-06-15；　**修订日期：** 2022-09-16

基金项目： 国家社会科学基金重大项目(17ZDA061)资助

作者简介： 曹晨(1993-)，女，博士研究生，主要从事城市地理与区域发展等方面的研究. E-mail: caochen_nju@163.com

通讯作者： 黄贤金(1968-)，男，博士，教授，主要从事土地利用与政策、国土空间规划及自然资源管理等方面的研究.
E-mail: hxj369@nju.edu.cn

要素流动视角剖析都市圈空间网络结构特征[22]，尤其是中国中西部地区尚处于发展培育期的黄河“几”字弯都市圈。

黄河“几”字弯都市圈位于黄河中上游，是我国中西部地区重要的经济增长极，在中国区域经济战略中具有重要地位[23]。从多元要素流视角剖析黄河“几”字弯都市圈空间网络结构特征及影响因素，对于优化其空间结构、推动黄河“几”字弯都市圈协同发展、促进区域一体化进程具有重要意义，同时也可为其他培育型都市圈的发展与空间优化策略提供一定的理论支撑。

1 研究区概况

黄河“几”字弯都市圈是指黄河流经甘肃、宁夏、内蒙古、陕西、山西5省(区)形成的“几”字形地区，包含白银市、庆阳市、银川市、石嘴山市、吴忠市、中卫市、呼和浩特市、包头市、鄂尔多斯市、乌兰察布市、巴彦淖尔市、乌海市、阿拉善盟、榆林市、延安市、太原市、忻州市、朔州市、大同市、吕梁市、临汾市21个地级市(盟)，国土面积80.41×10^4 km^2，2020年常住人口4810.05×10^{4}人。黄河“几”字弯都市圈因其社会经济发展相对滞后，在核心城市的经济势能与辐射带动能力、内部城市联系的紧密程度以及对接世界网络的综合效能上，相较于长三角、珠三角等城市群均存在一定的差距，是培育型都市圈研究的典型区域。

2 数据与方法

2.1 数据来源

交通流使用盛名时刻表网站(http://smskb.com/)中各盟市之间铁路班次(高速列车+普速火车)数量表征。物流使用快递网(http://www.kuaidi.com/)各盟市内15家物流公司(顺丰、EMS、中通、韵达、圆通、京东、申通、百世、德邦、极兔、天天、全峰、国通、汇通、优速)的物流网点数量表征。资金流使用四大银行(中国银行、中国工商银行、中国建设银行以及中国农业银行)官方网站的银行网点数据表征，包括四大银行在21个盟市的一级分行、二级分行以及支行(包括分理处与营业室，不包含ATM网点)的数量。信息流使用百度指数(https://index.baidu.com/)中各盟市之间有向的百度用户关注度数值表征。

2.2 研究方法

2.2.1 要素流网络连接度和联系强度 要素流网络连接度指城市间各要素流在网络中的连接程度，要素流网络连接度越大，表明城市间要素流动性越大。

交通流网络连接度使用城市对间铁路班次数量之和表示，其计算公式为：

$$T_{ij}=T_{i-j}+T_{j-i} \tag{1}$$

式中：T_{ij}为城市i与城市j之间的交通流网络连接度；T_{i-j}为城市i至城市j的铁路班次数量；T_{j-i}为城市j至城市i的铁路班次数量。

物流网络连接度使用15家物流公司在城市对间的重要程度之和表示，其计算公式为：

$$P_{ij}=\sum_m P_{ij,m} \tag{2}$$

$$P_{ij,m}=P_{im}\times P_{jm} \tag{3}$$

式中：P_{ij}为城市i与城市j之间的物流网络连接度；$P_{ij,m}$为物流公司m在城市i与城市j之间的网络连接度；P_{im}和P_{jm}分别为物流公司m在城市i与城市j中的重要程度。

资金流网络连接度使用银行网点在城市对间的重要程度之和来表示，其计算公式为：

$$C_{ij}=\sum_n C_{ij,n} \tag{4}$$

$$C_{ij,n}=C_{in}\times C_{jn} \tag{5}$$

式中：C_{ij}为城市i与城市j之间的资金流网络连接度；$C_{ij,n}$为银行n在城市i与城市j之间的网络连接度；C_{in}和C_{jn}分别为银行n在城市i与城市j中的重要程度。

信息流网络连接度使用城市对间百度用户关注度数值的乘积来表示，其计算公式为：

$$I_{ij}=I_{i-j}\times I_{j-i} \tag{6}$$

式中：I_{ij}为城市i与城市j之间的信息流网络连接度；I_{i-j}为城市i对城市j的百度用户关注度数值；I_{j-i}为城市j对城市i的百度用户关注度数值。

使用城市对间要素流网络连接度构建城市间要素流联系矩阵。将4种要素流联系矩阵原始数据分别进行归一化处理。计算公式为：

$$X=(x-\max)/(\max-\min) \tag{7}$$

式中：x为要素流联系矩阵原始数据；max为矩阵

中数值最大的值；min为矩阵中数值最小的值；X为归一化处理后的数值，其数值介于0~1之间，0表示两城市网络连接度最小，即城市间联系最疏远，1表示两城市网络连接度最大，即城市间联系最紧密。

将4种要素流网络连接度加权求和，参考相关研究[21,24]，认为各要素流同等重要，权重均为0.25，得到综合流网络连接度。

最后，分别对各要素流归一化后的数据求和，以此来表征一个城市与其他城市的要素流联系强度，计算公式为：

$$R_i = \sum_j R_{ij} \tag{8}$$

式中：R_i为城市i的要素流联系强度；R_{ij}为城市i与城市j的网络连接度。

2.2.2　空间结构指数　空间结构指数是Hanssens等在2013年提出的测度区域多中心结构的空间结构算法，取值范围介于0~1之间，值越小表明区域空间结构单极化发展特征明显，值越大表明区域空间结构多极化特征明显。其计算公式如下：

$$SSI = \begin{cases} (2 - \frac{SD}{SD_{rc}}) \times 2^{-1}, & SD < SD_{rc} \\ \frac{SD_{rc}}{2SD}, & SD > SD_{rc} \end{cases} \tag{9}$$

式中：SD为城市节点要素流联系强度的标准差；SD_{rc}为所有城市节点排序后其序号的标准差；SSI为区域的空间结构指数[21,25-26]。

2.2.3　凝聚子群　凝聚子群是网络中联系紧密且结构类似的次级群体的集合，可用来解释基于不同要素流的城市网络内部发展状态[4,27]。

2.2.4　QAP回归分析　二次指派程序(Quadratic assignment procedure，QAP)分析是一种研究矩阵间关系的非参数方法。其通过矩阵数据的置换，对矩阵的各个单元值进行比较，并对系数进行非参数检验。QAP分析的优点在于不需要假设自变量间相互独立的条件，能更好地处理变量共线性问题，同时结果更加可靠和稳健[22,28-29]。本文利用QAP回归分析方法定量识别黄河"几"字弯都市圈多要素网络的影响因素。

3　结果与分析

3.1　黄河"几"字弯都市圈空间网络结构

3.1.1　城市节点层级　城市节点联系强度显示(图1)，黄河"几"字弯都市圈21个盟市的交通流、物流、资金流与信息流联系强度差异明显：各城市节点资金流与物流联系强度大于交通流与信息流；同时交通流与信息流联系强度变化相对于交通流与资金流更为明显；此外，各城市综合流联系强度差距相对较小，综合流联系强度最大的是太原市、呼和浩特市与银川市，以上3个城市分别是山西、内蒙古和宁夏的省会(首府)城市。

使用ArcGIS软件中的自然断点法将城市节点联系强度分为五级。城市节点层级显示(表1)，省会(首府)城市太原市与呼和浩特市的核心地位比较突出，太原市与呼和浩特市的要素流大多处于联

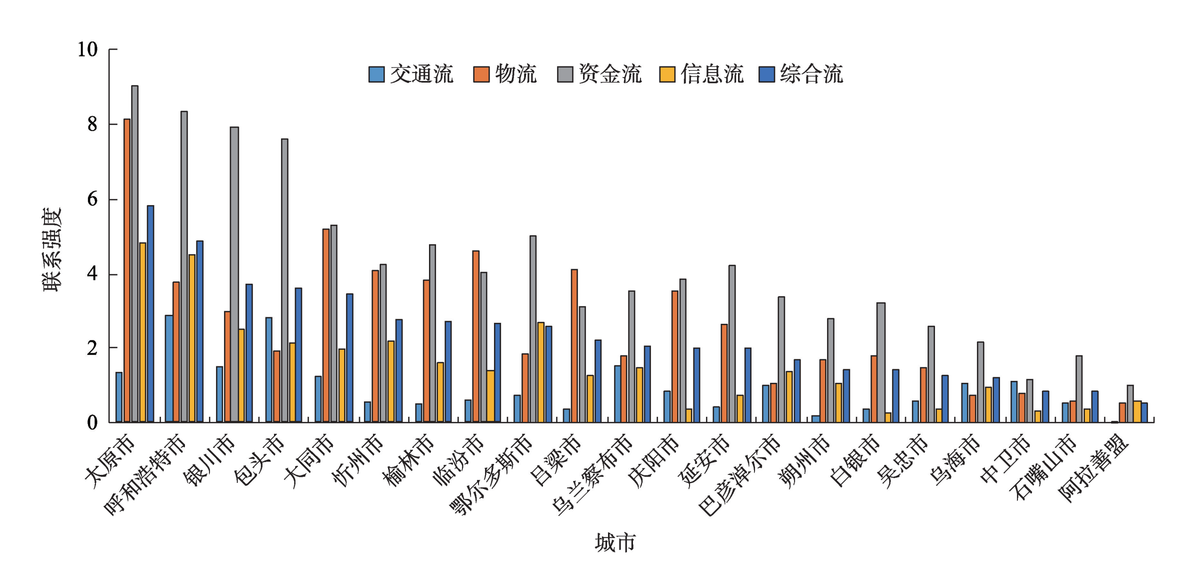


图1　黄河"几"字弯都市圈多要素流联系强度

Fig. 1　Connection strength of multi-dimensional feature flow in Jiziwan Metropolitan Area of the Yellow River

表1 黄河“几”字弯都市圈城市层级划分

Tab. 1 Urban hierarchy division of Jiziwan Metropolitan Area of the Yellow River

层级	交通流	物流	资金流	信息流	综合流
第一层级	呼和浩特市、包头市	太原市	太原市、呼和浩特市、银川市、包头市	太原市、呼和浩特市	太原市、呼和浩特市
第二层级	乌兰察布市、银川市、太原市、大同市	大同市、临汾市、吕梁市、忻州市、榆林市、呼和浩特市	大同市、鄂尔多斯市、榆林市	鄂尔多斯市、银川市、忻州市、包头市、大同市	银川市、包头市、大同市
第三层级	中卫市、乌海市、巴彦淖尔市、庆阳市、鄂尔多斯市	庆阳市、银川市、延安市	忻州市、延安市、临汾市、庆阳市、乌兰察布市、巴彦淖尔市	榆林市、乌兰察布市、临汾市、巴彦淖尔市、吕梁市	忻州市、榆林市、临汾市、鄂尔多斯市、吕梁市、乌兰察布市、庆阳市、延安市
第四层级	吴忠市、临汾市、忻州市、石嘴山市、榆林市、延安市、白银市、吕梁市	包头市、鄂尔多斯市、白银市、乌兰察布市、朔州市、吴忠市	白银市、吕梁市、朔州市、吴忠市、乌海市	朔州市、乌海市、延安市	巴彦淖尔市、朔州市、白银市、吴忠市、乌海市
第五层级	朔州市、阿拉善盟	巴彦淖尔市、中卫市、乌海市、石嘴山市、阿拉善盟	石嘴山市、中卫市、阿拉善盟	阿拉善盟、石嘴山市、吴忠市、庆阳市、中卫市、白银市	中卫市、石嘴山市、阿拉善盟

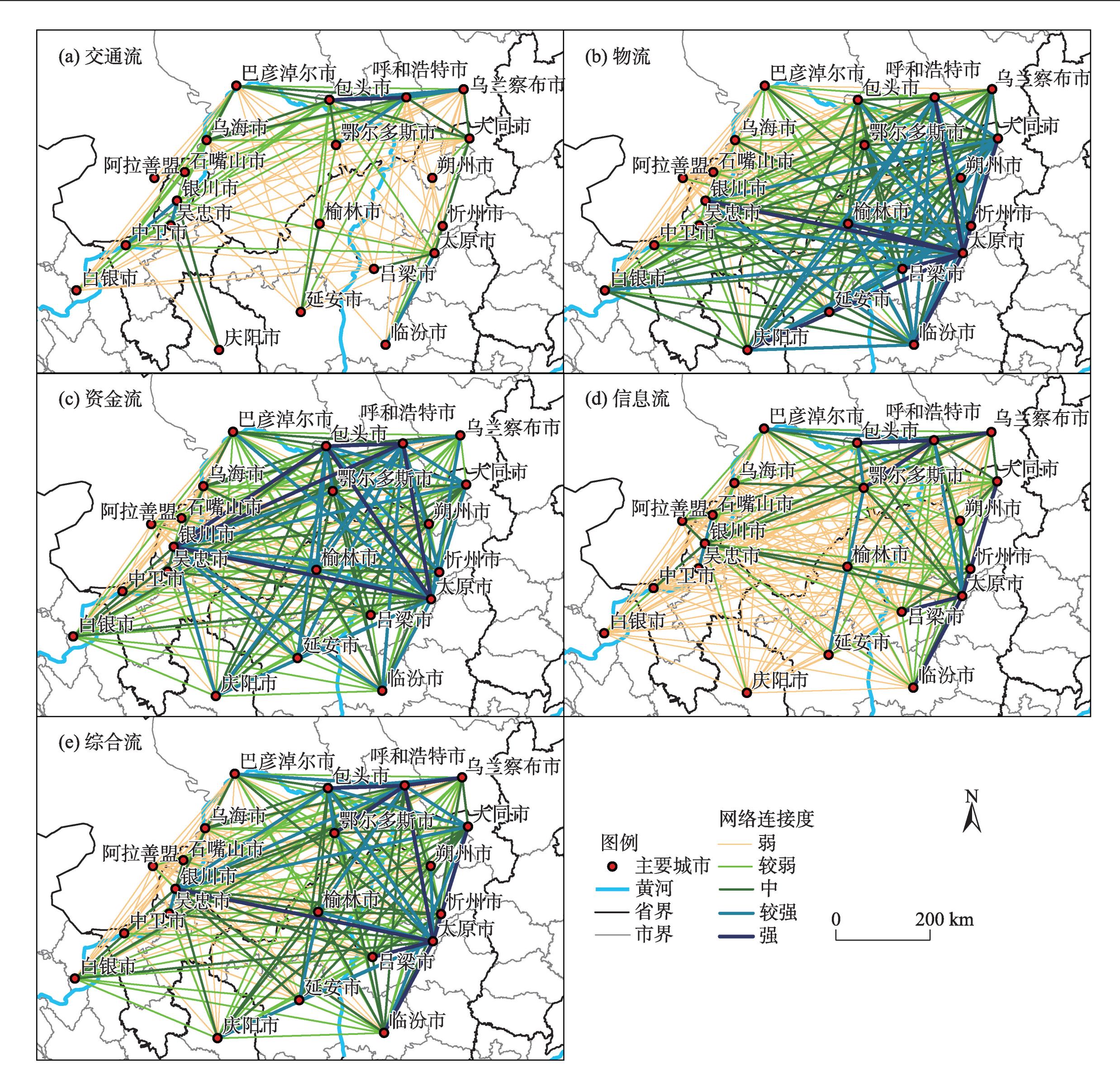
系强度的第一层级；宁夏首府银川市的地位不突出，除资金流处于联系强度的第一层级外，其他要素流大多处于联系强度的第二、三层级。不同要素流联系强度下黄河“几”字弯都市圈第二级城市变化明显，且大多显示出明显的资源型城市导向，如大同市的各要素流联系强度均较大，榆林市的物流与资金流联系强度较大等。第三、四层级城市各有优势，第五层级城市多位于都市圈西部地区，如阿拉善盟、石嘴山市、中卫市等。综合流联系强度显示，黄河“几”字弯都市圈呈现“两核多中心”的发展态势，形成了以省会（首府）城市太原市、呼和浩特市为核心城市，银川市、包头市、大同市为副中心城市，忻州市、榆林市、临汾市、鄂尔多斯市、吕梁市、乌兰察布市、庆阳市和延安市为核心区、其余城市为辐射影响区的“2+3+8+8”的城市空间结构。

3.1.2 城市网络联系 使用ArcGIS软件中的自然断点法将各要素流网络连接度分为弱、较弱、中、较强与强五级。从各要素流网络连接度分级特征来看（表2），黄河“几”字弯都市圈内各要素流网络连接度分级存在明显的差异性：交通流与信息流网络连接度集中于较弱等级与弱等级，物流、资金流与综合流网络连接度集中于弱等级、较弱等级和中等级，表明黄河“几”字弯都市圈内物流与资金流的联系较交通流与信息流更为紧密。

表2 黄河“几”字弯都市圈多要素流联系强度分级统计

Tab. 2 Statistics on the grading of connection strength of multi-dimensional feature flow in Jiziwan Metropolitan Area of the Yellow River

网络连接度等级	城市要素流网络连接度（归一化数据）					城市对数量					比例/%				
	交通流	物流	资金流	信息流	综合流	交通流	物流	资金流	信息流	综合流	交通流	物流	资金流	信息流	综合流
弱	0.0000~0.0426	0.0000~0.0516	0.0000~0.1083	0.0000~0.0403	0.0033~0.0586	57	73	68	127	77	50.00	34.76	32.38	61.06	36.67
较弱	0.0426~0.0994	0.0516~0.1114	0.1083~0.2154	0.0403~0.1146	0.0586~0.1235	34	48	67	40	61	29.82	22.86	31.90	19.23	29.05
中	0.0994~0.2454	0.1114~0.2223	0.2154~0.3501	0.1146~0.2108	0.1235~0.2075	16	51	40	24	44	14.04	24.29	19.05	11.54	20.95
较强	0.2454~0.5963	0.2223~0.4671	0.3501~0.6126	0.2108~0.4625	0.2075~0.3444	6	30	29	10	19	5.26	14.29	13.81	4.81	9.05
强	0.5963~1.0000	0.4670~1.0000	0.6126~1.0000	0.4625~1.0000	0.3444~0.6949	1	8	6	7	9	0.88	3.81	2.86	3.37	4.29



注：该图基于国家测绘地理信息局标准地图服务网站下载的审图号为GS(2016)1600号的标准地图制作，底图边界无修改。下同。

图2　黄河“几”字弯都市圈多要素流网络连接度

Fig. 2　Network connectivity of multi-dimensional feature flow in Jiziwan Metropolitan Area of the Yellow River

从网络连接度空间分布来看，黄河“几”字弯都市圈交通网络结构空间非均衡特征明显(图2a)，交通流网络连接度等级总体上呈现北强南弱的特征，同时较强等级的联系多出现在各省内部或邻近的城市对之间。物流网络同样存在空间非均衡性特征(图2b)，物流网络连接度等级从都市圈东部向西部递减。资金流网络呈现多中心发展的态势(图2c)，网络连接度为强等级的资金流联系集中于太原市、呼和浩特市、银川市3个省会(首府)城市以及包头市组成的梯形区域，较强等级与中等级的资金流联系逐渐向周边的城市扩展，呈现显著的等级扩散效应。信息流网络形成以太原市与呼和浩特市为中心的放射状格局(图2d)，并且呈现出较为明显的邻近扩散效应，即强等级的联系多出现在邻近的城市对之间。综合流网络空间分布相对交通流、物流、资金流以及信息流更加均衡(图2e)，网络连接度等级以太原市与呼和浩特市为双核心向外围递减，区域整体呈现“核心-边缘”结构。

3.1.3　城市空间格局

(1) 空间结构指数

通过公式(9)计算得出黄河“几”字弯都市圈城市网络空间结构指数(表3)。基于交通流、物流、资

表3　黄河“几”字弯都市圈城市网络空间结构指数

Tab. 3　Urban network spatial structure index of Jiziwan Metropolitan Area of the Yellow River

要素流	空间结构指数
交通流	0.9403
物流	0.8478
资金流	0.8145
信息流	0.8977
综合流	0.8915

金流和信息流的城市网络空间结构指数分别为0.9403、0.8478、0.8145和0.8977，表明不同要素流视角下黄河“几”字弯都市圈空间格局均呈现明显的多中心发展特征，且交通流网络和信息流网络的多中心程度高于资金流网络与物流网络。基于综合流的城市网络空间结构指数为0.8915，表明多要素共同作用下黄河“几”字弯都市圈空间格局仍然呈现多中心发展的特征。

（2）凝聚子群分析

从各要素流凝聚子群的空间分布来看（图3），交通流、物流、资金流、信息流与综合流凝聚子群均显示出较为明显的组团式空间结构，且地理邻近性特征明显，即隶属于同一省份或在地理空间上相邻的城市多属于同一个子群。这表明“流空间”视角下黄河“几”字弯都市圈要素联系仍受到传统地理

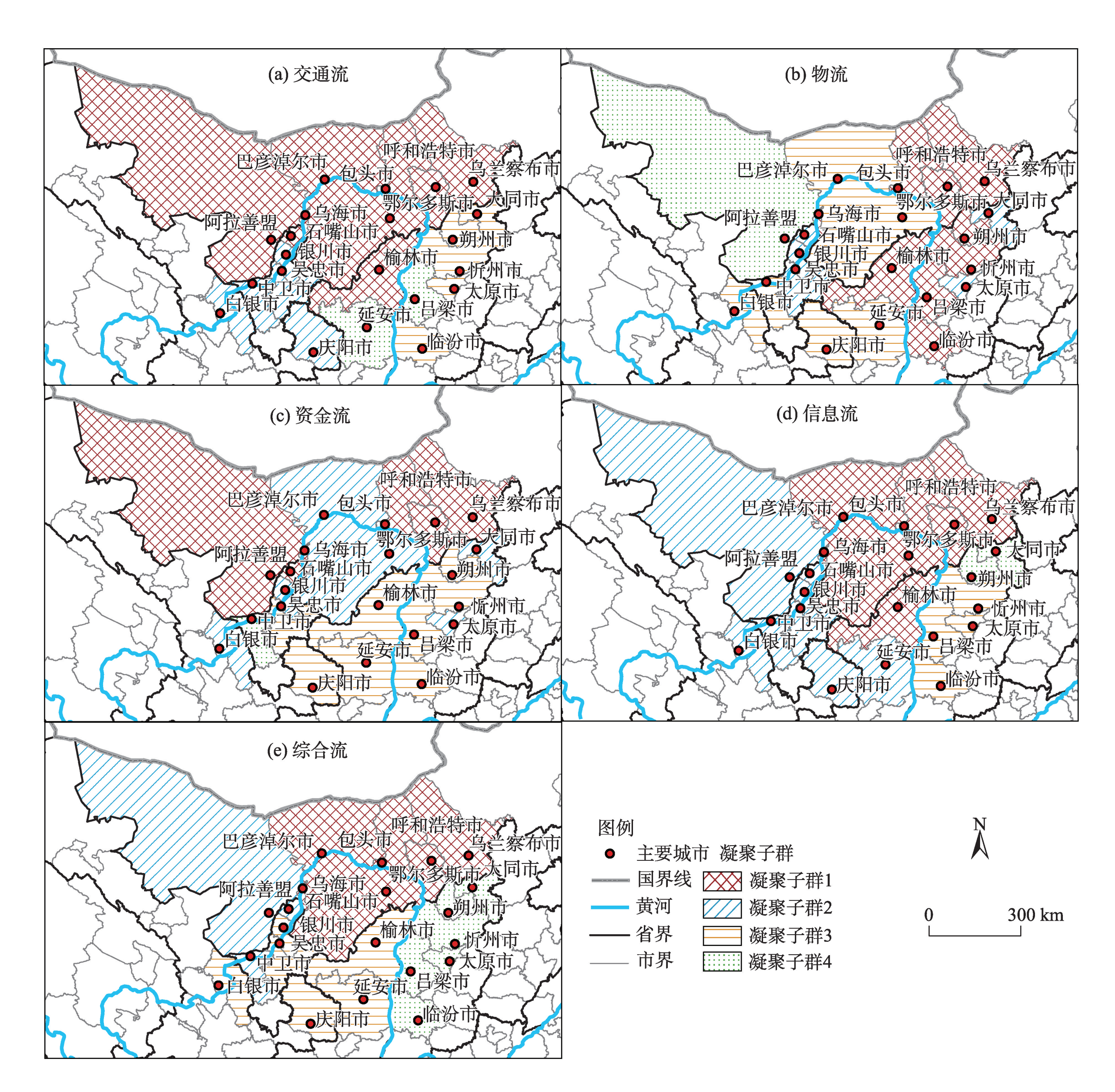


图3　凝聚子群空间分布

Fig. 3　Spatial distributions of cohesive subgroup

空间距离与行政区划的影响。

3.2 黄河“几”字弯都市圈空间网络结构影响因素

3.2.1 *模型设定与变量选取*　本文使用Ucinet 6.0软件中的QAP回归方法进一步分析黄河“几”字弯都市圈多要素空间网络结构的影响因素。参考相关研究[18,22,30]，选择地理邻近性、交通效率、经济发展水平、产业结构、要素扩散与集聚和经济全球化6个影响因素，建构模型如下：

$$F_i = f(P, T, E, I, S, G),\ i = 1, 2, 3, 4, 5 \quad (10)$$

式中：F_i 为因变量，分别为交通流、物流、资金流、信息流与综合流网络联系矩阵；P 为地理邻近性，若都市圈内两城市相邻则为1，不相邻记为0；T 为交通效率，通过计算都市圈内两两城市间公路出行时间、铁路出行最长时间与铁路出行最短时间的平均值构建交通效率差值矩阵；E 为经济发展水平，使用都市圈内各城市2020年GDP数据构建差值矩阵；I 为产业结构，采用各城市二三产业产值占比差值矩阵表示；S 为要素扩散与集聚，以各城市社会消费品零售总额差值矩阵表示；G 为经济全球化，以各城市进出口总额数据构建差值矩阵。为消除不同数据量纲的影响，采用公式(7)对影响因素差异矩阵进行归一化处理。

3.2.2 *多要素空间网络影响因素分析*　QAP回归结果显示(表4)，模型拟合效果较好：5个模型调整后的 R^2 处于0.266~0.412之间，且通过了1%显著性水平的检验。影响因素中：(1) 经济全球化(G)的影响力最大，其对交通流存在显著的负向影响，对其他要素流均存在显著的正向影响，说明黄河“几”字弯都市圈经济全球化程度越高，越有利于城市间的要素流动，但经济全球化均衡发展更有利于交通网络的发展。(2) 交通效率(T)对除物流之外的其他要素流均存在显著的负向影响，说明交通技术进步带来的“时空压缩”效应可有效促进要素在都市圈内流动。(3) 产业结构(I)对物流、资金流、信息流与综合流均存在显著的负向影响，说明缩小都市圈内产业结构差异有利于要素流动。(4) 地理邻近性(P)对交通流、信息流与综合流存在显著的正向影响，表明城市间交通和信息联系仍受到传统空间距离的影响。(5) 要素扩散与集聚(S)对交通流存在显著的正向影响，对物流存在显著的负向影响。(6) 经济发展水平(E)仅对交通流存在显著的负向影响，说明城市间经济发展水平差异越小，交通联系强度越大；同时经济发展水平对其他要素流没有显著影响，说明都市圈内要素流动并非由经济因素主导。

4 讨论

黄河“几”字弯都市圈虽然是黄河中上游地区重要的城市发展区，但其各要素流网络的发展仍处于初级阶段：核心城市的地位不够突出，网络结构空间非均衡性明显，城市间要素联系的地理邻近性特征明显，都市圈空间网络结构与东部发达城市群如长三角与珠三角等存在较大差距。区别于对我

表4　黄河“几”字弯都市圈多要素网络结构影响因素回归结果

Tab. 4　Urban network spatial structure index of Jiziwan Metropolitan Area of the Yellow River

影响因素	回归系数				
	交通流	物流	资金流	信息流	综合流
P	0.1392**	−0.1560	−0.0586	0.2348***	0.0806*
T	−0.4328***	−0.0720	−0.2167***	−0.3304***	−0.3087***
E	−0.1656**	0.0389	0.0104	−0.0376	−0.0326
I	0.0256	−0.2423**	−0.1831*	−0.1137*	−0.1792**
S	0.3523***	−0.2614*	0.0295	0.1085	0.0217
G	−0.1486*	0.7759***	0.4379***	0.3077***	0.4966***
R^2	0.274	0.419	0.295	0.378	0.409
调整后 R^2	0.266	0.412	0.286	0.371	0.402
观察项个数	420	420	420	420	420
随机置换次数	5000	5000	5000	5000	5000

注：P 为地理邻近性；T 为交通效率；E 为经济发展水平；I 为产业结构；S 为要素扩散与集聚；G 为经济全球化；R^2 为判定系数；回归系数均为标准化后的值；5次回归常数项均为0；*、**、***分别代表在0.1、0.05、0.01显著性水平下通过检验。

国东部发达地区城市群和都市圈空间网络结构的研究以及使用单一要素流测度城市群或都市圈空间网络结构，本文采用多种网络开源数据，从多要素流视角剖析黄河“几”字弯都市圈空间网络结构特征及影响因素，弥补了该地区的研究空白，为全面识别和优化该地区空间网络结构、推动黄河“几”字弯都市圈协同发展提供了一定的理论依据和对策建议。但是，都市圈空间网络结构影响机制较为复杂，本文选取的影响因素不够全面，未来有必要对都市圈多要素流空间网络结构的影响机制进行深入研究；同时由于数据获取的限制，本文未能分析黄河“几”字弯都市圈多要素流空间网络结构的演变，今后可开展多时序的空间网络结构演变研究。

5 结论与建议

5.1 结论

（1）从城市节点来看，黄河“几”字弯都市圈各城市交通流、物流、资金流、信息流与综合流联系强度差异明显。不同要素流联系视角下，第一层级城市主要包括省会（首府）太原市与呼和浩特市，第二、三、四层级城市变化明显、各有优势，第五层级城市相似且大多位于都市圈西部地区。综合流联系强度显示，黄河“几”字弯都市圈形成了以太原市、呼和浩特市为核心城市的“2+3+8+8”的城市空间结构。

（2）从城市网络联系来看，相比交通流与信息流，黄河“几”字弯都市圈内物流与资金流的联系更为紧密。从要素流网络连接度的空间分布来看，各要素流网络空间非均衡特征明显：交通流网络连接度北强南弱，物流网络连接度东强西弱，资金流网络呈现多中心发展的特征，信息流网络呈现以太原市与呼和浩特市为双核心的结构，综合流网络联系分布更加均衡且呈现“核心-边缘”结构。

（3）交通流、物流、资金流、信息流与综合流网络空间结构指数均显示黄河“几”字弯都市圈呈现较为明显的多中心发展特征。同时各要素流凝聚子群均呈现明显的组团式空间结构，地理邻近性特征明显。

（4）QAP回归结果显示，经济全球化对黄河“几”字弯都市圈多要素流空间网络结构的影响最大；交通效率差异与产业结构差异对多要素流空间网络结构产生不利影响；要素集聚与扩散对交通流与物流存在显著影响；而经济发展水平的影响最小，说明经济发展水平不是黄河“几”字弯都市圈要素流动的主导因素。

5.2 建议

（1）确立核心城市的地位并强化其龙头带动作用。虽然黄河“几”字弯都市圈已呈现以太原市和呼和浩特市2个省会（首府）城市为中心的发展态势，但另一个省会（首府）城市银川市的核心地位不突出。因此，需要确立太原市、呼和浩特市与银川市3个省会（首府）城市的核心地位，将以上3个核心城市培育成都市圈协同发展进程中的重要增长极并带动周边中小城镇的发展。

（2）畅通都市圈城市间要素的流动。在稳步提升核心城市集聚能力的同时，加强不同省（自治区）城市间的交流与联系，同时加强都市圈西部与东部、南部与北部城市间的要素流动，以此带动都市圈西部地区、黄河上游地区的发展，形成优势互补、高效协同的都市圈发展新格局。

（3）注重要素流动网络视角下都市圈城市间的发展差距。通过提高都市圈内城市在经济全球化中的参与度，加强交通基础设施建设以减小城市间交通效率差异，同时升级与完善产业结构以促进产业协调发展，畅通黄河“几”字弯都市圈内要素流动，推动黄河“几”字弯都市圈协同与融合发展。

参考文献(References)

[1] 姚世谋, 汤茂林, 陈雯, 等. 区域与城市发展论[M]. 第2版. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 2009: 222-223. [Yao Shimou, Tang Maolin, Chen Wen, et al. Theory of regional and urban development[M]. 2nd ed. Hefei: University of Science and Technology of China Press, 2009: 222-223.]

[2] Castells M. Grassrooting the space of flows[J]. Urban Geography, 1999, 20(4): 294-302.

[3] 邱坚坚, 刘毅华, 陈浩然, 等. 流空间视角下的粤港澳大湾区空间网络格局——基于信息流与交通流的对比分析[J]. 经济地理, 2019, 39(6): 7-15. [Qiu Jianjian, Liu Yihua, Chen Haoran, et al. Urban network structure of Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area with the view of space of flows: A comparison between information flow and transportation flow[J]. Economic Geography, 2019, 39(6): 7-15.]

[4] 李苑君, 吴旗韬, 吴康敏, 等. “流空间”视角的电子商务快递物流网络结构研究——以珠三角城市群为例[J]. 地域研究与开发, 2021, 40(2): 20-26. [Li Yuanjun, Wu Qitao, Wu Kangmin, et

al. Structure of e-commerce express logistics network from the perspective of flow space: Take the Pearl River Delta urban agglomeration as example[J]. Areal Research and Development, 2021, 40(2): 20–26.]

[5] 黄泮爵, 杨滔. 珠三角城市空间联系及社会网络——基于“流空间”的分析[J]. 热带地理, 2022, 42(3): 422–430. [Huang Fengjue, Yang Tao. Exploring the spatial structure of Pearl River Delta: Based on “space of flows”[J]. Tropical Geography, 2022, 42(3): 422–430.]

[6] 周慧玲, 王甫园. 基于修正引力模型的中国省际旅游者流空间网络结构特征[J]. 地理研究, 2020, 39(3): 669–681. [Zhou Huiling, Wang Fuyuan. Research on structure characteristics of the inter-provincial tourist flow spatial network in China based on the modified gravity model[J]. Geographical Research, 2020, 39(3): 669–681.]

[7] 程雪兰, 方叶林, 苏雪晴, 等. 中国东部沿海5大城市群旅游流网络结构空间分布特征研究[J]. 地理科学进展, 2021, 40(6): 948–957. [Cheng Xuelan, Fang Yelin, Su Xueqing, et al. Spatial distribution characteristics of network structure of tourism flow in five major urban agglomerations of coastal China[J]. Progress in Geography, 2021, 40(6): 948–957.]

[8] 陈伟, 修春亮, 柯文前, 等. 多元交通流视角下的中国城市网络层级特征[J]. 地理研究, 2015, 34(11): 2073–2083. [Chen Wei, Xiu Chunliang, Ke Wenqian, et al. Hierarchical structures of China’s city network from the perspective of multiple traffic flows[J]. Geographical Research, 2015, 34(11): 2073–2083.]

[9] 陈维肖, 刘玮辰, 段学军. 基于“流空间”视角的铁路客运空间组织分析——以长三角城市群为例[J]. 地理研究, 2020, 39(10): 2330–2344. [Chen Weixiao, Liu Weichen, Duan Xuejun. Spatial organization evolution of railway passenger transportation in the perspective of “space of flow”: A case study of the Yangtze River Delta urban agglomeration[J]. Geographical Research, 2020, 39(10): 2330–2344.]

[10] 姚文萃, 周婕, 陈虹桔, 等. 基于互联网公共信息流的区域网络空间结构研究[J]. 经济地理, 2017, 37(10): 10–16. [Yao Wencui, Zhou Jie, Chen Hongju, et al. Spatial structure of regional network based on internet public information flow[J]. Economic Geography, 2017, 37(10): 10–16.]

[11] 王启轩, 张艺帅, 程遥. 信息流视角下长三角城市群空间组织辨析及其规划启示——基于百度指数的城市网络辨析[J]. 城市规划学刊, 2018(3): 105–112. [Wang Qixuan, Zhang Yishuai, Cheng Yao. Spatial organization of the Yangtze River Delta urban agglomeration and its implications on planning from the perspective of information flow: Analysis of city network based on Baidu index[J]. Urban Planning Forum, 2018(3): 105–112.]

[12] 李艳, 孙阳, 陈雯. 反身性视角下信息流空间建构与网络韧性分析: 以长三角百度用户热点搜索为例[J]. 中国科学院大学学报, 2021, 38(1): 62–72. [Li Yan, Sun Yang, Chen Wen. Construction of space of information flows and assessment of network resilience from reflexive perspective: A case study of Baidu index in Yangtze River Delta[J]. Journal of University of Chinese Academy of Sciences, 2021, 38(1): 62–72.]

[13] 董琦, 甄峰. 基于物流企业网络的中国城市网络空间结构特征研究[J]. 人文地理, 2013, 28(4): 71–76. [Dong Qi, Zhen Feng. The study on spatial structure characteristics of China’s city network based on the logistics enterprise network[J]. Human Geography, 2013, 28(4): 71–76.]

[14] 李苑君, 吴旗韬, 张玉玲, 等. 中国三大城市群电子商务快递物流网络空间结构及其形成机制研究[J]. 地理科学, 2021, 41(8): 1398–1408. [Li Yuanjun, Wu Qitao, Zhang Yuling, et al. Spatial structure and formation mechanism of e-commerce express logistics network in the three major urban agglomerations of China[J]. Scientia Geographica Sinica, 2021, 41(8): 1398–1408.]

[15] 刘望保, 石恩名. 基于ICT的中国城市间人口日常流动空间格局——以百度迁徙为例[J]. 地理学报, 2016, 71(10): 1667–1679. [Liu Wangbao, Shi Enming. Spatial pattern of population daily flow among cities based on ICT: A case study of “Baidu Migration”[J]. Acta Geographica Sinica, 2016, 71(10): 1667–1679.]

[16] 孙桂平, 韩东, 贾梦琴. 京津冀城市群人口流动网络结构及影响因素研究[J]. 地域研究与开发, 2019, 38(4): 166–169, 180. [Sun Guiping, Han Dong, Jia Mengqin. Structure and influencing factors of human mobility network in Beijing-Tianjin-Hebei urban agglomeration[J]. Areal Research and Development, 2019, 38(4): 166–169, 180.]

[17] 胡刚钰, 黄建中, 李峰清. 厦漳泉大都市区空间网络结构分析——基于人流活动特征的LBS大数据分析[J]. 现代城市研究, 2019(11): 13–19. [Hu Gangyu, Huang Jianzhong, Li Fengqing. Spatial network structure analysis of Xia-Zhang-Quan metropolitan area: LBS big data analysis based on crowds’ activities characteristics[J]. Modern Urban Research, 2019(11): 13–19.]

[18] 钟业喜, 冯兴华, 文玉钊. 长江经济带经济网络结构演变及其驱动机制研究[J]. 地理科学, 2016, 36(1): 10–19. [Zhong Yexi, Feng Xinghua, Wen Yuzhao. The evolvement and driving mechanism of economic network structure in the Changjiang River Economic Zone[J]. Scientia Geographica Sinica, 2016, 36(1): 10–19.]

[19] 郑蔚, 许文璐, 陈越. 跨区域城市群经济网络的动态演化——基于海西、长三角、珠三角城市群分析[J]. 经济地理, 2019, 39(7): 58–66, 75. [Zheng Wei, Xu Wenlu, Chen Yue. Dynamic evolution of economic network within inter-regional urban agglomerations: Based on the urban agglomerations of west coast of Taiwan Straits, Yangtze River Delta and Pearl River Delta[J]. Economic Geography, 2019, 39(7): 58–66, 75.]

[20] 叶珊珊, 曹明明, 胡胜. 关中平原城市群经济联系网络结构演变及对经济增长影响研究[J]. 干旱区地理, 2022, 45(1): 277–286. [Ye Shanshan, Cao Mingming, Hu Sheng. Evolution of economic connection network structure in the Guanzhong Plain City Cluster and its impact on economic growth[J]. Arid Land Geography, 2022, 45(1): 277–286.]

[21] 王少剑, 高爽, 王宇渠. 基于流空间视角的城市群空间结构研究——以珠三角城市群为例[J]. 地理研究, 2019, 38(8): 1849-1861. [Wang Shaojian, Gao Shuang, Wang Yuqu. Spatial structure of the urban agglomeration based on space of flows: The study of the Pearl River Delta[J]. Geographical Research, 2019, 38(8): 1849-1861.]

[22] 王逸舟, 王海军, 张彬, 等. 基于多维要素流视角的城市群网络结构及影响因素分析——以武汉城市圈为例[J]. 经济地理, 2021, 41(6): 68-76. [Wang Yizhou, Wang Haijun, Zhang Bin, et al. Analysis on the network structure of urban agglomeration and its influencing factors based on the perspective of multi-dimensional feature flow: Taking Wuhan urban agglomeration as an example[J]. Economic Geography, 2021, 41(6): 68-76.]

[23] 魏向前. 黄河"几"字弯都市圈协同治理的动因、约束与前瞻[J]. 北方民族大学学报, 2022(1): 152-160. [Wei Xiangqian. Motivation, restriction and prospect of coordinated governance of Jiziwan Metropolitan Area of the Yellow River[J]. Journal of North Minzu University, 2022(1): 152-160.]

[24] 刘传明, 曾菊新. 县域综合交通可达性测度及其与经济发展水平的关系: 对湖北省79个县域的定量分析[J]. 地理研究, 2011, 30(12): 2209-2221. [Liu Chuanming, Zeng Juxin. The calculating method about the comprehensive transport accessibility and its correlation with economic development at county level: The statistical analysis of 79 counties in Hubei Province[J]. Geographical Research, 2011, 30(12): 2209-2221.]

[25] Hanssens H, Derudder B, Van Aelst S, et al. Assessing the functional polycentricity of the mega-city-region of Central Belgium based on advanced producer service transaction links[J]. Regional Studies, 2013, 48(12): 1939-1953.

[26] 刘骁啸, 吴康. 功能疏解背景下京津冀中部核心区产业投资网络演化研究[J]. 地理科学进展, 2020, 39(12): 1972-1984. [Liu Xiaoxiao, Wu Kang. Change of industrial investment networks in the central core area of the Beijing-Tianjin-Hebei region under the background of non-capital function dispersal[J]. Progress in Geography, 2020, 39(12): 1972-1984.]

[27] 孙宇, 彭树远. 长三角城市创新网络凝聚子群发育机制研究——基于多值ERGM[J]. 经济地理, 2021, 41(9): 22-30. [Sun Yu, Peng Shuyuan. Development mechanism of cohesive subgroups urban innovation networks in the Yangtze River Delta: Based on the valued ERGM[J]. Economic Geography, 2021, 41(9): 22-30.]

[28] 高鹏, 何丹, 宁越敏, 等. 长江中游城市群社团结构演化及其邻近机制——基于生产性服务企业网络分析[J]. 地理科学, 2019, 39(4): 578-586. [Gao Peng, He Dan, Ning Yuemin, et al. Community structure and proximity mechanism of city clusters in middle reach of the Yangtze River: Based on producer service firms' network[J]. Scientia Geographica Sinica, 2019, 39(4): 578-586.]

[29] 冯颖, 侯孟阳, 姚顺波. 中国粮食生产空间关联网络的结构特征及其形成机制[J]. 地理学报, 2020, 75(11): 2380-2395. [Feng Ying, Hou Mengyang, Yao Shunbo. Structural characteristics and formation mechanism of spatial correlation network of grain production in China[J]. Acta Geographica Sinica, 2020, 75(11): 2380-2395.]

[30] 汪永生, 李玉龙, 郑绍杰. 长三角城市群空间网络结构特征研究[J]. 统计与决策, 2022, 38(6): 69-74. [Wang Yongsheng, Li Yulong, Zheng Shaojie. Study on the spatial network structure of urban agglomeration in Yangtze River Delta[J]. Statistics and Decision, 2022, 38(6): 69-74.]

Spatial network structure and its influencing factors of Jiziwan Metropolitan Area of the Yellow River from the perspective of multi-dimensional feature flow

CAO Chen, HUANG Xianjin

(School of Geography and Ocean Science, Nanjing University, Nanjing 210023, Jiangsu, China)

Abstract: This paper takes 21 cities in Jiziwan (riverway bend with the shape of Chinese character "几") Metropolitan Area of the Yellow River as the study area. Multidimensional data is used such as traffic flow, logistics, capital flow and information flow. The study also uses methods such as connection strength, spatial structure index, cohesive subgroup and QAP regression analysis to analyze the "point-line-plane" characteristics of the spatial network structure and the factors that influence Jiziwan Metropolitan Area of the Yellow River. The results show the following: (1) From the perspective of urban nodes, the connection strength of traffic flow, logistics, fund flow, information flow and comprehensive flow of the cities in Jiziwan Metropolitan Area of the Yellow River are quite different. In general, the comprehensive flow exhibits the development trend of "two cores and a multiple centers" with Taiyuan City and Hohhot City as the cores. (2) From the perspective of different connection flow networks, the connection strength of logistics and capital flow is closer. At the same time, the spatial nonequilibrium characteristics of the network structure of each feature flow are obvious. In general, it is strong in the east and weak in the west, and strong in the north and weak in the south. (3) The spatial structure indexes show that Jiziwan Metropolitan Area of the Yellow River exhibits a relatively obvious polycentric structure from the perspective of multidimensional feature flow, and the cohesive subgroups under different feature flow perspectives all show the characteristics of geographic proximity. (4) QAP regression results show that economic globalization, traffic efficiency, industrial structure and geographic proximity have a significant impact on the multidimensional feature connection network of Jiziwan Metropolitan Area of the Yellow River, while the economic development level has the least impact, indicating that it is not the dominant factor in the flow of factors in this area.

Key words: Jiziwan Metropolitan Area of the Yellow River; multi-dimensional feature connection network; spatial structure; QAP regression analysis